

**Convergencia tecnológica e Industria 4.0 en pymes industriales.  
Reflexiones para políticas regionales de cambio tecnológico.**

Eje Temático 1

Blanc, Rafael; Lepratte, Leandro; Rodríguez, María Alejandra; Hegglin, Daniel  
GIDIC UTN FRCU, Ing. Pereira 676 (3260), Concepción del Uruguay,  
gidic@gmail.com

**Resumen**

Uno de los escenarios centrales de Convergencia Tecnológica en la actualidad lo evidencia la Industria 4.0. En tanto proceso de convergencia tecnológica, la manufactura avanzada, ha surgido a partir de las potencialidades de aplicación de la denominada Internet Industrial.

Los modelos de madurez son enfoques organizacionales – ingenieriles sustentados en principios evolucionistas sobre recursos y capacidades. Para el caso de aplicación en enfoques de Industrias 4.0, el grado de madurez es analizado en los niveles de Productos, Operaciones y Tecnologías de las firmas.

Se analizan 44 firmas relevadas en 2019 en la Provincia de Entre Ríos (costa del Uruguay). En el módulo sobre Incorporación de Tecnologías 4.0 se evaluaron componentes del modelo de madurez.

Los resultados evidencian que la implementación de tecnologías de industria 4.0 es *heterogénea*. Esto varía a nivel inter e intra-sectorial, con una cierta presunción de que el tamaño y las firmas con mayor intensidad tecnológica son más proclives a la utilización de las mismas. Si embargo, es necesario reconocer la necesidad de generación de capacidades organizacionales, de capital humano y tecnológicas para desarrollar mayores niveles de madurez. Otro aspecto a considerar es que la incorporación de estas tecnologías apunta a optimizar procesos productivos (“físicos”). A escala regional, las herramientas de estímulo e incentivos deberían permitir, en los casos que sea factible, el upgrade de líneas de procesos y la implementación de modelos de negocios que impulsen la convergencia entre industria 4.0 y servitización en la manufactura. Mientras que las políticas CTI deberían enfocar su direccionalidad hacia la naturaleza sociotécnica, compleja y heterogénea de este proceso de cambio tecnológico atendiendo las especificidades territoriales.

**Palabras claves:** convergencia tecnológica, industria 4.0, políticas CTI.

## **Marco de Referencia**

La manufactura avanzada ha adquirido diferentes denominaciones, siendo la de Industria 4.0 surgida en Alemania (Ahrens, 2012; Germany Trade & Investment, 2016) una de las más utilizadas desde diferentes ámbitos empresariales, gubernamentales, instituciones de ciencia y tecnología y educación superior en América Latina y Argentina en particular (Basco et al., 2018; Brixner et al., 2019; Tortorella & Fettermann, 2018).

Por Industria 4.0 entenderemos, conforme a la literatura especializada, a la convergencia de tecnologías emergentes, tales como: big data, internet de las cosas, robotización, inteligencia artificial, aprendizaje automático e impresión 3D, sensores, realidad virtual y servicios en la nube, y otras que posibilitan transformar los modos de operar, definir modelos de negocios y desarrollar procesos de fabricación en las organizaciones. Las mismas, están impactando transversalmente en todos los sectores productivos, cambiando los modelos de producción, gestión y negocio del planeta como sucedió con las tecnologías 3.0. Este fenómeno, marcado por la digitalización y la conectividad, está cambiando la forma de producir, los modelos de negocios, el mercado laboral y las tareas que llevan adelante los trabajadores. Esta transformación, implica, por ejemplo, que una fábrica tenga información instantánea sobre el estado de sus máquinas o que una empresa conozca en tiempo real el uso que hacen los clientes de sus servicios. Este tipo de industria tiene diez principios básicos que cruzan transversalmente las nuevas tecnologías (Lasi et al., 2014; Hermann et al., 2015; Mariani & Borghi, 2019; Sung, 2018), de los cuales se analizarán cinco en el presente trabajo. Estos se definen como:

A) Sistema Cyber Físicos: son integraciones del sistema de software y los procesos físicos. Las computadoras y redes integradas monitorean y controlan los procesos físicos, generalmente con circuitos de retroalimentación donde los procesos físicos afectan los cálculos y viceversa. El desarrollo de dichos sistemas se caracteriza por tres fases, primera generación incluye tecnologías de identificación como etiquetas RFID y el almacenamiento de datos de los mismos y los análisis deben proporcionarse como un servicio. La segunda está desarrollada en base a sensores y actuadores con un rango limitado de funciones. La tercera generación puede almacenar y analizar datos, están equipados con múltiples sensores y actuadores, y son compatibles con la red.

B) Capacidad en tiempo real: para el control de las tareas organizativas es necesario que los datos se recopilen y analicen en tiempo real. El estado de la planta de producción se capta y se analiza permanentemente, por lo cual, la planta puede reaccionar ante una falla o cambios en la demanda en forma ágil.

C) Virtualización: es una tecnología que permite la copia del mundo físico en uno digital lo que puede facilitar la realización de escenarios que podrán ser aplicados al diseño de partes, set up de máquinas, niveles de procesamiento, etc.

D) Descentralización: la capacidad de los equipos de poder realizar ciertas rutinas en forma autónoma en caso de inconvenientes y la posibilidad de implementar acceder a datos e implementar órdenes de forma remota al proceso.

E) Internet de las cosas (IoT): puede ser definido como la capacidad de los productos de almacenar y proveer datos de estado, uso y ubicación al fabricante, además de proveer características remotas al usuario como manejo, informes de estado, etc.

Al entender que la implementación de tecnologías Industria 4.0 es un fenómeno de organización industrial de carácter socio-técnico, es necesario interpretar a estos modelos y adecuarlos para ser implementados en el contexto de países como Argentina que presentan empresas con escasos recursos y capacidades tecnológicas y de innovación (Yoguel & Robert, 2010), y que recurren a procesos de adecuaciones sociotécnicas para incorporar las tecnologías (Dagnino & Thomas, 2001). El objetivo del trabajo es hacer un análisis de tipo descriptivo del estado de las firmas industriales de la provincia de Entre Ríos en cuanto a la implementación de tecnologías que componen el paradigma de la industria 4.0.

### **Metodología**

El presente estudio es de carácter exploratorio y corresponde con la primera fase de un proyecto de investigación que tiene como objeto relevar el estado de las industrias de los parques industriales de la provincia de Entre Ríos. Se realizará un análisis de datos primarios de firmas del Gualeguaychú, Uruguay y Concordia de los cuales fueron relevadas 44 (cuarenta y cuatro) durante el segundo trimestre del año 2019 y datos secundarios aportados por los organismos de la provincia de Entre Ríos, cámaras empresariales, etc. A partir de los mismos, se realizará un análisis descriptivo sobre las tecnologías implementadas relacionadas a la industria 4.0 a fin de lograr un primer estado de situación del parque seleccionado en cuanto al próximo estadio industrial. El formulario único se aplicó con encuestador en forma presencial, en las firmas de mayor porte hubo instancias auto administradas y luego con un chequeo de la información por parte de un encuestador. En el módulo sobre Incorporación de Tecnologías 4.0 se evaluaron componentes del modelo de madurez de las dimensiones: Producto, Operaciones y Tecnología. Y características relacionadas con la industria 4.0 como son: sistemas cyber físicos, análisis en tiempo real, virtualización, descentralización y Orientación al servicio (IoT). A fin de lograr los objetivos del trabajo se realiza una serie de análisis de tipo descriptivo, para los cuales se utilizaron las siguientes variables:

## Variables del estudio

### A) Sistemas Cyber Físicos.

- Hardware de Control (PLC, DCS, CNC, PAC, RTU)
- MDC recopilación de datos de una máquina
- PDA adquisición de datos de producción
- M2M Coordinación de equipos de producción a través de red
- MES Sistemas de Ejecución de Manufactura

### B) Análisis tiempo real

- MRP Sistema de planificación de materias primas.
- ERP Sistema de planificación de recursos.
- Análisis estadístico de datos locales para toma de decisiones.
- Herramientas de análisis de datos en la nube.

### C) Virtualización

- CAD Diseño asistido por computadora.
- Sistema de control avanzado (inteligencia artificial, red neuronal, etc..).
- Realidad aumentada.
- Simulación de piezas.
- Simulación de sistemas de producción o distribución.
- BPM Software.

### D) Descentralización

- Herramientas de análisis de datos en la nube.
- Programas en la nube (cloud computing) como reemplazo del sistema local.
- Acceso a datos a través de telefonía celular.
- Modificación de datos a través de telefonía celular.

### E) Internet de las cosas (IoT)

- Producto almacena datos de uso.
- Producto almacena datos de estado y ubicación.
- Producto comunica datos de estado y ubicación.
- Producto comunica datos de uso.

A continuación, se presentan los principales análisis y resultados del estudio.

## Resultados

La implementación de sistemas cyber físicos si bien es heterogénea entre las firmas relevadas poseen variables de elevada implementación como son el Hardware de control, los sistemas MDC y M2M. Las variables menos implementadas son RDIF una tecnología de identificación de componentes con muchos años en el mercado y los MES

que son sistemas integrales que necesitan de las variables más utilizadas mencionadas anteriormente sumadas a una capa de software con control y administración.

**Tabla 1: Implementación de Sistemas Cyber Físicos de las empresas.**

VARIABLES	% de implementación
Hardware de Control (PLC, DCS, CNC, PAC, RTU)	50,00%
MDC recopilación de datos de una máquina	27,30%
M2M	18,20%
Códigos de barras (partes y productos terminados)	13,60%
PDA adquisición de datos de producción	13,60%
Identificación por radiofrecuencia (RFID)	9,10%
MES Sistemas de Ejecución de Manufactura	9,10%

Fuente: elaboración propia en base al relevamiento en las firmas del parque industrial.

La dimensión de análisis en tiempo real cuenta con diferentes paquetes de software que tratan los datos generados tanto por los sistemas cyber físicos como por la demanda de la empresa. Entre estos softwares los más implementados son los MRP, los ERP y el análisis de datos mediante software para tomas de decisiones. A pesar de su resonancia en los medios de comunicación y en las nuevas gamas de productos industriales el análisis de los datos en nubes es la herramienta de menor implementación que alcanza solo el 6,8% de los casos.

**Tabla 2: Implementación de Análisis tiempo real de las empresas.**

VARIABLES	% de implementación
MRP Sistema de planificación de materias primas	34,10%
ERP Sistema de planificación de recursos	20,50%
Análisis estadístico de datos locales para toma de decisiones	20,50%
Herramientas de análisis de datos en la nube	6,80%

Fuente: elaboración propia en base al relevamiento en las firmas del parque industrial.

La dimensión virtualización de las firmas que responde al poder prever y simular mediante modelos de computadora a fin anticipar y evaluar los escenarios posibles. La variable de mayor implementación es el diseño asistido por computadora como insumo sobre todo para alimentación de ciertos equipos automáticos. Por su parte tecnologías modernas como son realidad aumentada, simulación de procesos, BMP software y inteligencia artificial son de escasa implementación no superando el 7,0% de los casos.

**Tabla 3: Implementación de Virtualización de las empresas.**

VARIABLES	% de implementación
CAD Diseño asistido por computadora	38,60%
Simulación de piezas	13,60%
Realidad aumentada	6,80%
Simulación de sistemas de producción o distribución	2,30%
BPM Software	4,50%
Sistema de control avanzado (inteligencia artificial, red neuronal)	2,30%

Fuente: elaboración propia en base al relevamiento en las firmas del parque industrial.

La implementación de sistemas de gestión remotos para empresas es de bajo grado de implementación no superando el 7,0% de los casos en ninguna variable incluso en los relacionados al acceso y modificación de los mismos a través de telefonía celular.

**Tabla 4: Implementación de Descentralización de las empresas.**

VARIABLES	% de implementación
Herramientas de análisis de datos en la nube.	6,80%
Programas en la nube como reemplazo del sistema local	6,80%
Acceso a datos a través de telefonía celular	6,80%
Modificación de datos a través de telefonía celular.	4,50%

Fuente: elaboración propia en base al relevamiento en las firmas del parque industrial.

El IOT uno de los baluartes de esta revolución industrial cuando observamos en el nivel de implementación de las variables relacionadas es modesto. Esto puede explicarse en gran medida por el tipo de productos que fabrican las firmas estudiadas todos los productos no tienen la posibilidad de implementar IOT y en caso de que lo implementen que el cliente este dispuesto a pagar el costo diferencial del mismo.

**Tabla 5: Implementación de Internet de las cosas (IoT) de las empresas.**

VARIABLES	% de implementación
Producto almacena datos de uso	6,80%
Producto comunica datos de uso	4,50%
Producto almacena datos de estado y ubicación.	4,50%

Producto comunica datos de estado y ubicación.	2,30%
--	-------

Fuente: elaboración propia en base al relevamiento en las firmas del parque industrial.

Observando las dimensiones analizadas anteriormente mediante el promedio de sus variables se revela la implementación tanto de sistemas cyber físicos como sistemas de análisis en tiempo por sobre las demás. Exhibe la baja de implementación de modelos de descentralización como de sistemas IOT.

**Tabla 6: Resumen de implementación de las diferentes dimensiones de industria 4.0.**

Dimensiones	% de implementación
Sistemas Cyber Físicos	26,30%
Análisis tiempo real	20,48%
Virtualización	11,35%
Descentralización	6,23%
Internet de las cosas (IoT)	4,53%

Fuente: elaboración propia en base al relevamiento en las firmas del parque industrial.

Una de las variables de control tradicionales de estudios económicos es la calidad de exportadora o no de las firmas en la muestra que se analiza el 45,0% de las firmas son exportadoras. Las firmas que exportan tiene en general mayor nivel de implementación de tecnologías 4.0 que sus pares no exportadores.

**Tabla 7: Relación de la conducta exportadora y las dimensiones de industria 4.0.**

	Exporta	No exporta
Sistemas Cyber Físicos	35,71%	18,45%
Análisis tiempo real	27,50%	14,58%
Virtualización	17,50%	6,25%
Descentralización	7,50%	5,21%
Internet de las cosas (IoT)	7,50%	2,08%
Promedio	18,17%	8,23%

Fuente: elaboración propia en base al relevamiento en las firmas del parque industrial.

La relación de tamaño de firmas por facturación con la implementación de tecnologías 4.0 demuestra que a mayor tamaño en promedio se da un mayor uso de las

dimensiones. La muestra está compuesta por tamaño de acuerdo a facturación de la siguiente forma: Micro: 34,1%, Pequeña: 31,8% y Medianas T1 y T2: 34,1%.

**Tabla 8: Relación entre el tamaño por facturación y las dimensiones de industria 4.0.**

Facturación	Micro	Pequeña	Medianas T1 y T2
Sistemas Cyber Físicos	9%	30%	47%
Análisis tiempo real	10%	20%	30%
Virtualización	6%	14%	16%
Descentralización	7%	2%	11%
Internet de las cosas (IoT)	10%	0%	3%
Promedio	7%	12%	21%

Fuente: elaboración propia en base al relevamiento en las firmas del parque industrial.

La relación de tamaño de firmas por cantidad de empleados con la implementación de tecnologías 4.0 demuestra que a mayor tamaño en promedio se da un mayor uso de las dimensiones. La muestra está compuesta por tamaño de acuerdo a facturación de la siguiente forma: Micro: 27,3%, Pequeña: 36,4%; y Medianas: 36,4%.

**Tabla 9: Relación entre el tamaño por cantidad de empleados y las dimensiones de industria 4.0.**

Empleados	Micro	Pequeña	Mediana
Sistemas Cyber Físicos	18%	19%	48%
Análisis tiempo real	8%	20%	38%
Virtualización	3%	11%	22%
Descentralización	8%	5%	6%
Internet de las cosas (IoT)	5%	0%	10%
Promedio	7%	10%	24%

Fuente: elaboración propia en base al relevamiento en las firmas del parque industrial.

Si relacionamos la relación de las firmas con organismos de ciencia y tecnología (INTI, INTA y Universidades) con la implementación de tecnologías 4.0 denota la importancia de las universidades para el desarrollo de las mismas y en menor medida del INTI y el INTA.

**Tabla 10: Relación instituciones de ciencia y tecnología y las dimensiones de industria 4.0.**

	INTI	INTA	UNIVERSIDADES
Sistemas Cyber Físicos	0,22	0,35	0,35
Análisis Tiempo Real	0,23	0,11	0,21
Virtualización	0,10	0,10	0,13
Descentralización	0,03	0,00	0,12
Internet de las Cosas	0,00	0,00	0,02
Promedio	0,12	0,11	0,17

Fuente: elaboración propia en base al relevamiento en las firmas del parque industrial.

A continuación, se detallan las conclusiones del trabajo.

### **Conclusiones**

De la observación de las empresas las dimensiones de mayor grado de implementación en la muestra fueron los sistemas cyber físicos y la de análisis en tiempo real. Por el contrario, las de menor grado de implementación fueron la descentralización e internet de las cosas (IOT). En el caso de IOT se debe en gran medida al tipo de producto que son maduros en cuanto a su ciclo de vida y de baja intensidad a nivel tecnológico. La implementación, por parte de las industrias de estas tecnologías es heterogénea. Hay firmas que implementan gran cantidad de los ítems analizados, como las que no tienen este nivel tecnológico en ninguna de las variables del estudio. Se determinó en las entrevistas la presencia de equipos de diferentes antigüedades y de difícil complementación, máquinas parcialmente automatizadas y en la misma línea máquinas autónomas con capacidades de coordinación mediante redes y de reporte a diferentes softwares de gestión de proceso y negocios.

La condición de exportadora y el tamaño de firma afectan en el nivel de implementación de las tecnologías siendo las empresas grandes y exportadoras la que logran mejores desempeños en las variables observadas.

Debe tenerse en cuenta que las dimensiones sistemas cyber físicos y análisis en tiempo real son base para la expansión de la implementación de 4.0 en una empresa, por lo tanto, sería deseable un aumento de su implementación en post de adaptarse a esta revolución.

Se detecta la relevancia del papel del sistema educativo a escala regional, de instituciones técnicas y universitarias que necesitan mantener, actualizar y reformular propuestas formativas, o generar nuevas atenciones a la industria 4.0 y de la importancia de otros organismos de ciencia y tecnología como son el INTI y el INTA.

Desde la perspectiva de iniciativas de instrumentos de políticas industriales para la región surge en primer lugar, la necesidad de instalar las temáticas relacionadas con industrias 4.0 e implementar procedimientos extendidos de identificación de necesidades de cambio tecnológico en las industrias de la provincia. Y segundo, plantear que aplicar modelos de industria 4.0 es más que la incorporación de tecnologías específicas, que requiere de nuevos modelos de negocios, de capacidades de gestión tecnológica y capital humano capaz de impulsarlos. Se requiere para esto de espacios de co-construcción de conocimientos y co-generación de capacidades entre actores empresariales, institucionales y gubernamentales del territorio.

### **Bibliografía**

- Ahrens, V. (2012). Inflation industrieller Revolutionen. *Productivity Management*, 17(5), 30-31.
- Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P. (2018). *Industria 4.0: Fabricando el Futuro*. Inter-American Development Bank.
- Brixner, C., Isaak, P., Mochi, S., Ozono, M., & Yoguel, G. (2019). industria 4.0: ¿intensificación del paradigma tic o nuevo paradigma tecno organizacional? CIECTI.
- Dagnino, R., & Thomas, H. (2001). Elementos para una renovación explicativa-normativa de las políticas de innovación latinoamericanas. *Avaliação*, 6(1), 55-68.
- Germany Trade & Investment (Ed.). (2016). *INDUSTRIE 4.0—Smart Manufacturing for the Future*.
- Hermann, M.; Pentek T. & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), Koloa, HI, pp. 3928-3937.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239-242.
- Mariani, M., & Borghi, M. (2019). Industry 4.0: A bibliometric review of its managerial intellectual structure and potential evolution in the service industries. *Technological Forecasting and Social Change*, 149, 119752.
- Sung, T. K. (2018). Industry 4.0: A Korea perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 40-45.
- Tortorella, G. L., & Fettermann, D. (2018). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2975-2987.
- Yoguel, G., & Robert, V. (2010). Capacities, Processes, and Feedbacks: The Complex Dynamics of Development.